第48卷 第1期
2025年1月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 48 No. 1
Jan. 2025

粮食产销平衡区耕地非粮化动态演变及分区管控
——以陕西省为例

吴一帆[1]， 邢培学[2]， 郑伟伟[1]， 夏显力[1]， 张超正[1]

（1. 西北农林科技大学经济管理学院，陕西 咸阳 712100；2. 上海交通大学环境科学与工程学院，上海 200240）

摘 要： 探究粮食产销平衡区耕地非粮化时空演变特征及驱动因素，以期为制定耕地非粮化差异化管控及长效治理提供参考。利用空间自相关模型、时空地理加权回归模型、*K*均值算法等方法探究2000—2020年陕西省耕地非粮化现象及其驱动因素时空演变规律。结果表明：(1) 陕西省耕地非粮化率由2000年的16.11%上升至2020年的27.87%，增幅达73.00%，耕地非粮化形势严峻。(2) 陕西省耕地非粮化空间上整体呈现“南北高-中部低”的格局，“高-高型集聚”中心由陕北关中交界处逐渐转移至陕南地区，“低-低型集聚”主要分布在关中地区，呈由中部向四周扩散趋势。(3) 耕地非粮化驱动因素影响程度及范围存在明显时空异质性，一产增加值对耕地非粮化驱动力呈上升趋势，人均耕地面积、人均机械劳动力、平均坡度和年降水量等因素对耕地非粮化驱动力呈下降趋势。(4) 陕西省耕地非粮化驱动类型以经济驱动型为主，主要分布于关中地区，促进粮农降本增收、减少乡村人口流失是管控重点；生产支持型主要分布于陕北地区，管控以改善种粮条件、促进农业经济发展为主；环境限制型主要分布于陕南地区，引导与管控结合是治理途径。

关 键 词： 耕地保护；耕地非粮化；粮食产销平衡区；时空地理加权回归模型

文章编号： 1000－6060(2025)01－0153－15(0153～0167)

耕地资源是保障国家粮食安全的基础[1]。在我国人多地少、耕地后备资源有限的现实背景下，城市化的快速发展及农村劳动力转移等，使得耕地非粮化问题日益凸显[2-3]。中国一直高度重视粮食安全问题，明确提出要保证粮食自给率基本保持在95%以上[4]。但近年来，粮食产销平衡区自给率大幅下降，粮食净调入量明显增加，区域供需矛盾日益突出，对国家粮食安全产生一定威胁[5]。2019年中央一号文件指出，“要压实主销区和产销平衡区粮食生产责任”。2020年国务院办公厅发布《关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见》指出，“产销平衡区和主销区要保持应有的自给率，确保粮食种植面积不减少、产能有提升、产量不下降，共同维护好国家粮食安全”。在此背景下，如何合理管控粮食产销平衡区耕地非粮化，遏制粮食种植面积下降趋势，保证粮食基本自给，成为当下亟待解决的重要问题。

近年来，众多学者针对非粮化测度、驱动因素、时空演变及外部效应等方面展开了大量研究。目前，学术界对非粮化的测度，可大致分为粮食作物占比[6]、非粮播种面积占耕地面积比[7]、非粮作物占农作物播种面积比[8]3类，也有学者利用耕地流转后非粮作物面积占流转面积比定义[9]。在驱动因素方面，广泛认为种粮效益低下是非粮化现象的根本原因，工商资本的逐利[10]、农业劳动力转移[11]、农户自身特征[12]以及自然环境因素[13]常被纳入考量范

收稿日期： 2024-02-27； **修订日期：** 2024-04-30

基金项目： 陕西省社会科学基金项目(2021R023)；国家自然科学基金青年项目(42201291)；教育部人文社会科学研究青年基金项目(21YJC630174)资助

作者简介： 吴一帆(2000-)，男，硕士研究生，主要从事耕地非粮化研究. E-mail: 13703406185@163.com

通讯作者： 郑伟伟(1992-)，女，博士，副教授，主要从事耕地保护、生态安全及土地资源优化配置等方面的研究.
E-mail: weiwei.zheng@nwafu.edu.cn

围。研究方法常通过传统计量模型如多元线性回归[14]等模型定量化分析驱动因素的影响程度。考虑到地理区域差异和时空演变，常利用遥感[15]和GIS[16]工具从地理层面探究非粮化的演变及驱动因素的地域差异。已有研究已囊括全国[17]、省域[18]、市域[19]、县域[20]不同维度，探讨不同尺度条件下非粮化现象及机理。对耕地非粮化外部效应的研究关注非粮化带来的粮食种植面积减少，威胁粮食安全[21]、土壤层污染导致粮食减产降质、生产过程造成大气、水等资源污染[22]。在分区管控方面，学者们在考虑到各地区社会经济、自然环境资源禀赋差异的基础上，采用聚类[15]等方法，对耕地非粮化进行分区，并提出差异化管控措施。

尽管现有对非粮化的研究已取得丰富的成果，但仍存在一些不足。首先是耕地非粮化动态研究不足。非粮化现象的出现是由于社会经济、自然禀赋等多要素共同作用的结果，社会经济及资源禀赋会随时间推移发生变化，非粮化的程度、规模及驱动因素都可能随时空而变化，当前研究多考虑空间因素而缺少时间动态性考虑，有必要同时将时空因素纳入研究框架。已有研究多选择粮食主产区或耕地集中区进行研究，对粮食产销平衡区的研究不足，且多选择省域、市域作为研究单元，往往容易忽略研究区内部微观差异，难以精细化分析。此外，由于各地区资源禀赋不同，耕地非粮化治理不能“一刀切”，应充分认识各地区资源差异，科学划定耕地非粮化分区，制定差异化耕地非粮化管控措施。

陕西省属于我国粮食产销平衡区的一员，承担着维护口粮供求缺口不扩大的稳定责任[4]，但其粮食安全形势不容乐观，省内粮食播种面积从2000年的3.822×10^6 hm^{2}降至2020年的3.001×10^6 hm^2。虽粮食单产呈上升趋势，但省内粮食自给率至2020年仅为64.41%，远低于90%粮食自给率安全线[23]，存在粮食自给安全隐患。同时，由于特殊地理区位，省内存在多种地形地貌及气候区，导致耕地非粮化成因异质性。因此，本文选取陕西省为研究对象，以县级行政区为研究单元，基于社会经济数据及地理空间数据，借助空间自相关、时空加权回归模型等方法，分析陕西省耕地非粮化时空演变及空间差异性，探究耕地非粮化的驱动因素及时空变化规律，为粮食产销平衡区耕地非粮化管控提供参考。

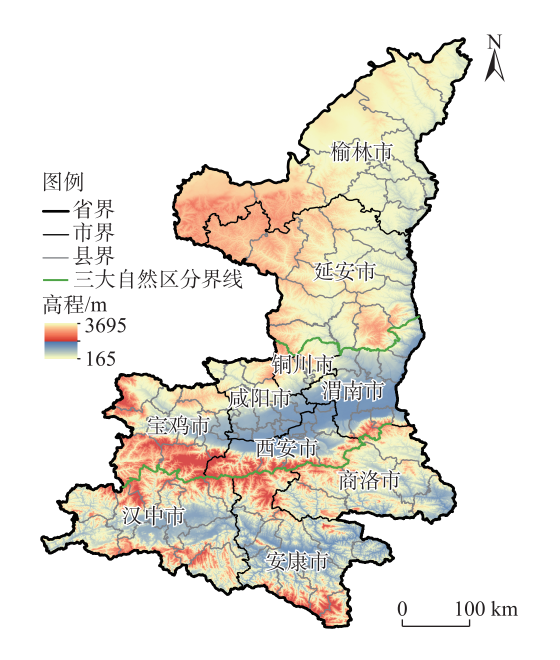
1 数据与方法

1.1 研究区概况

陕西省位于中国内陆西北地区，总面积约为2.056×10^7 hm^2(图1)。省内地形以狭长地域为主，南北部以山地和高原为主，中部则主要为平原和盆地。北山和秦岭把陕西分为三大自然区：陕北、关中和陕南。陕北地区以高原和山地为主，主要种植小麦等粮食作物及苹果等经济作物。关中地区以平原和盆地为主，种植粮食作物以及果树、蔬菜等经济作物。陕南地区以山地和丘陵为主，种植类型包括粮食作物及果树、茶叶等经济作物。丰富的作物种植类型对粮食生产造成了潜在威胁。2000—2020年，陕西省耕地面积减少1.192×10^6 hm^2，平均每年减少5.960×10^4 hm^2；粮食播种面积减少了8.210×10^5 hm^2，平均每年减少4.105×10^4 hm^2；非粮作物播种面积增加2.150×10^4 hm^2，平均每年增加1075 hm^2，耕地非粮化现象十分突出。本文选取陕西省作为案例区，开展粮食产销平衡区耕地非粮化的动态演化及分区管控研究，对于稳定产销平衡区粮食基本自给、深化农业改革具有重要意义。

1.2 数据来源

陕西省下辖10个市区，107个县级行政区划。



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2017)1267号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

由于新城区、碑林区、莲湖区为全面城建区，无耕地面积数据，因此未纳入研究。本文涉及其余104个区县。DEM数据来源于地理空间数据云（https://www.gscloud.cn/），空间分辨率为30 m；气温数据来源于ERA5-land（http://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=overview）；路网数据来源于OpenStreetMap（https://www.openstreetmap.org/）；降水量数据来源于中国地面气候资料日值数据集V3.0；耕地面积、粮食播种面积等社会经济数据来源于2000—2020年《中国县域统计年鉴》《陕西省统计年鉴》以及陕西省各市统计年鉴及统计公报，采用线性插值法对个别缺失数据进行插补。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地非粮化率测算 已有研究将耕地非粮化分为食物性生产非粮化和非食物性生产非粮化[24]，鉴于县域尺度非粮作物数据缺失严重，本文将耕地非粮化界定为食物性生产非粮化。基于现有研究中测度非粮化率的方法[14]，结合研究区种植特征，将粮食作物定义为稻类、谷类、薯类和豆类，将除此4类之外的耕地种植行为定义为耕地非粮化，计算公式如下：

$$R^i_{ngp} = 1 - A^i_p / \left(A^i_g \times C^i\right) \tag{1}$$

式中：R^i_{ngp} 为第i研究区非粮化率；A^i_p 为第i研究区粮食作物播种面积（hm²）；A^i_g 为第i研究区耕地面积（hm²）；C^i 为第i研究区复种指数。

1.3.2 指标选取 耕地非粮化受经济发展[10]、自然因素[13]、社会因素[19]等多方面影响，参考已有研究，结合数据可获得性，从社会经济、生产条件、自然禀赋3个维度选取9个指标构建指标集（表1），并对指标进行标准化处理。

社会经济发展水平影响农户收入，进而影响其种植结构的选择。非粮食作物比较收益往往更高，这会驱使农户改变自身种植行为，从而引发非粮化现象[15]。家庭劳动力资源禀赋及作物用工量的差异化也会引起农户种植结构的调整[6]。因此，本文选取一产增加值、农村居民可支配收入和乡村人口数作为衡量社会经济发展水平的指标。

经营主体所拥有的生产资源配置会影响其种植结构的选择。农户经营的耕地面积决定了其农业生产上限，在一定程度上影响农户的种植偏好[14]。不同作物对机械和技术依赖度存在差异，这会影响农户的种植选择[25]。交通网络增强了城乡间联系，也为种植经济作物提供了运输便利性，进而促进耕地非粮化发展。因此，本文选取人均耕地面积、人均机械劳动力和路网密度作为衡量农业生产条件的指标。

表1 耕地非粮化驱动因子指标体系

Tab. 1 Index system of driving factors for non-grain of cultivated land

维度	因子	单位	预期符号
社会经济	一产增加值（X_1）	10^8元	+
	农村居民可支配收入（X_2）	元	±
	乡村人口数（X_3）	10^4人	+
生产条件	人均耕地面积（X_4）	$hm^2 \cdot 人^{-1}$	±
	人均机械劳动力（X_5）	$kW \cdot 人^{-1}$	+
	路网密度（X_6）	$km \cdot km^{-2}$	+
自然禀赋	平均坡度（X_7）	（°）	+
	年降水量（X_8）	mm	±
	年均气温（X_9）	℃	+

自然资源禀赋是耕地进行农业种植的物质基础，耕地自然本底特征将直接影响经营者的种植决策。地形因素直接决定了耕地的分布与形态，地形坡度起伏大，种植传统粮食作物收益往往低于经济作物，同时，一个地区光热环境和水文条件也会影响农户种植行为及耕地利用方式[26]。因此，本文选取平均坡度、年降水量、年均气温作为衡量自然环境条件的指标。

1.3.3 耕地非粮化时空演变分析 从省级县级2个维度分析耕地非粮化时空演变特征，利用全局及局部空间自相关分析，反映耕地非粮化率在空间中的集聚状态。全局莫兰指数（Global Moran's I）能够反映出要素间整体空间分布模式及相关度，局部莫兰指数（Local Moran's I）可以反映出要素在局部范围的分布及异质性[27]。在本文中，先利用Global Moran's I判断陕西省耕地非粮化是否存在空间相关性，再利用Local Moran's I分析其空间集聚分布状态。具体分析公式如下：

$$\text{Global Moran's } I = \frac{n \times \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_{ij}(x_i - x)(x_j - x)}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_{ij} \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

$$\text{Local Moran's } I = \frac{(x_i - \bar{x})\sum_{j=1}^{n} W_{ij}(x_j - \bar{x})}{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{3}$$

式中：n 为空间数据量；x_i 和 x_j 分别为空间对象在 i 和 j 点的属性值；$\bar{x}$ 为 x_i 和 x_j 的均值；W_{ij} 为空间权重矩阵。

1.3.4 多元线性回归模型 多元线性回归能够反映出因变量(Y)与2个或2个以上的自变量(X)之间线性依存关系。在本文中，选取耕地非粮化率作为因变量(Y)，从社会经济、生产条件、自然禀赋3个维度选取指标作为自变量(X)，采取逐步回归法探究耕地非粮化驱动因子。具体公式如下：

$$y=\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\cdots+\beta_nx_n+e \tag{4}$$

式中：y 为耕地非粮化率；β_0 为常数项；$\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_n$ 为回归系数；$x_1,x_2,\cdots,x_n$ 为耕地非粮化驱动因素；e 为随机误差项。

1.3.5 时空地理加权回归(GTWR)模型 GTWR模型糅合时间因子与空间因子，能够解决传统地理加权回归模型时间空间非平衡问题，提高估计的有效性[28]。本文通过多元线性回归公式筛选影响因子，利用GTWR模型，分析2000—2020年陕西省耕地非粮化驱动因素时空演变规律。具体公式如下：

$$Y_i=\beta_0(u_i,v_i,t_i)+\sum_{k=1}^{n}\beta_k(u_i,v_i,t_i)X_{ik}+e_i \tag{5}$$

式中：Y_i 为第 i 点耕地非粮化率；X_{ik} 为第 k 个耕地非粮化驱动因素在第 i 点的值；(u_i,v_i,t_i) 为第 i 点的时空坐标；$\beta_0(u_i,v_i,t_i)$ 为 i 点的回归常数；$\beta_k(u_i,v_i,t_i)$ 为 i 点的第 k 个回归参数；e_i 为随机扰动项。

1.3.6 耕地非粮化驱动类型划分 主成分分析法是将所选指标转化为1个或多个具有代表性的综合变量的方法。K 均值算法是典型的基于距离的聚类算法。本文首先通过主成分分析法对指标进行降维处理，之后利用 K 均值聚类方法得出不同耕地非粮化驱动类型。

2 结果与分析

2.1 陕西省耕地非粮化时序演变特征

从陕西全省来看，2000—2020年耕地非粮化水平整体呈波动上升趋势，从16.11%提高至27.87%，增幅达73.00%(图2)。耕地非粮化水平最高为陕北，由2000年的39.65%上升至2020年的45.01%，最高值在2017年，达到55.96%；其次是陕南地区，由2000年的19.46%上升至2020年的43.93%，增幅为125.75%；最后是关中地区，由2000年的18.06%上升至2020年的28.67%，增幅为58.75%。利用ArcGIS对104个县级研究单元耕地非粮化率按自然断点法进行分级，将陕西省县域非粮化率分为较轻区(0%~20.9%)、轻度区(21%~37.8%)、中度区(37.9%~51.8%)、较重区(51.9%~65.9%)、严重区(66%~100%)(图3)。陕西省耕地非粮化水平空间差异明显，整体呈现"南北高-中部低"的格局。

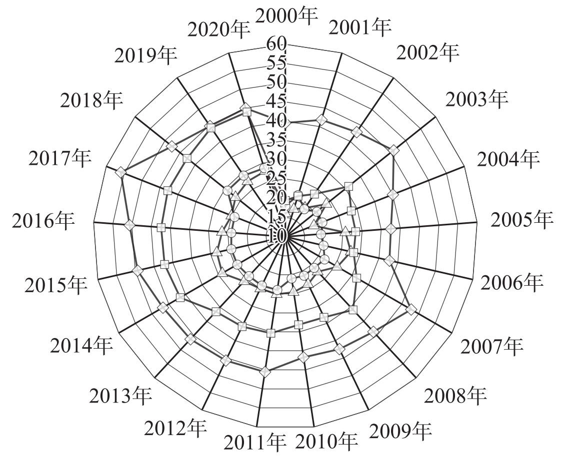


图2 2000—2020年陕西省及各分区耕地非粮化率年际变化

Fig. 2 Interannual variations of non-grain rates of cultivated land in Shaanxi Province and its sub-regions from 2000 to 2020

从空间分布来看，耕地非粮化较重区和严重区多位于陕北和陕南，分布状态由零散分布逐渐转向区域集聚，耕地非粮化较轻区及轻度区则主要分布于关中地区，但受周边地区影响，其耕地非粮化水平逐渐升高。分年度而言：2000年陕西省耕地非粮化较重区数量较少，呈现出多点分散的分布特征，未形成一定规模，如陕北地区的吴起县和靖边县、关中地区的印台区、陕南地区的佛坪县及平利县。随时间推移，2015年陕西省耕地非粮化较重区和严重区数量占陕西省县域总数的24%，主要分布于陕北地区(44%)和关中地区(32%)，陕南地区数量占比最低，仅为24%。但相较于2000年，2020年陕南地区的耕地非粮化较重区和严重区增长率在3个地区中最高，耕地非粮化发展趋势最快。关中地区耕地非粮化水平虽也有提高，但主要为轻度区和中度区，数量占比为65%，未央区、雁塔区及太白县等县域耕地非粮化水平较高，整体耕地非粮化程度远低于陕北和陕南。2020年，耕地非粮化较重区和严重区在陕北呈现向南部转移趋势，在陕南则继续保持

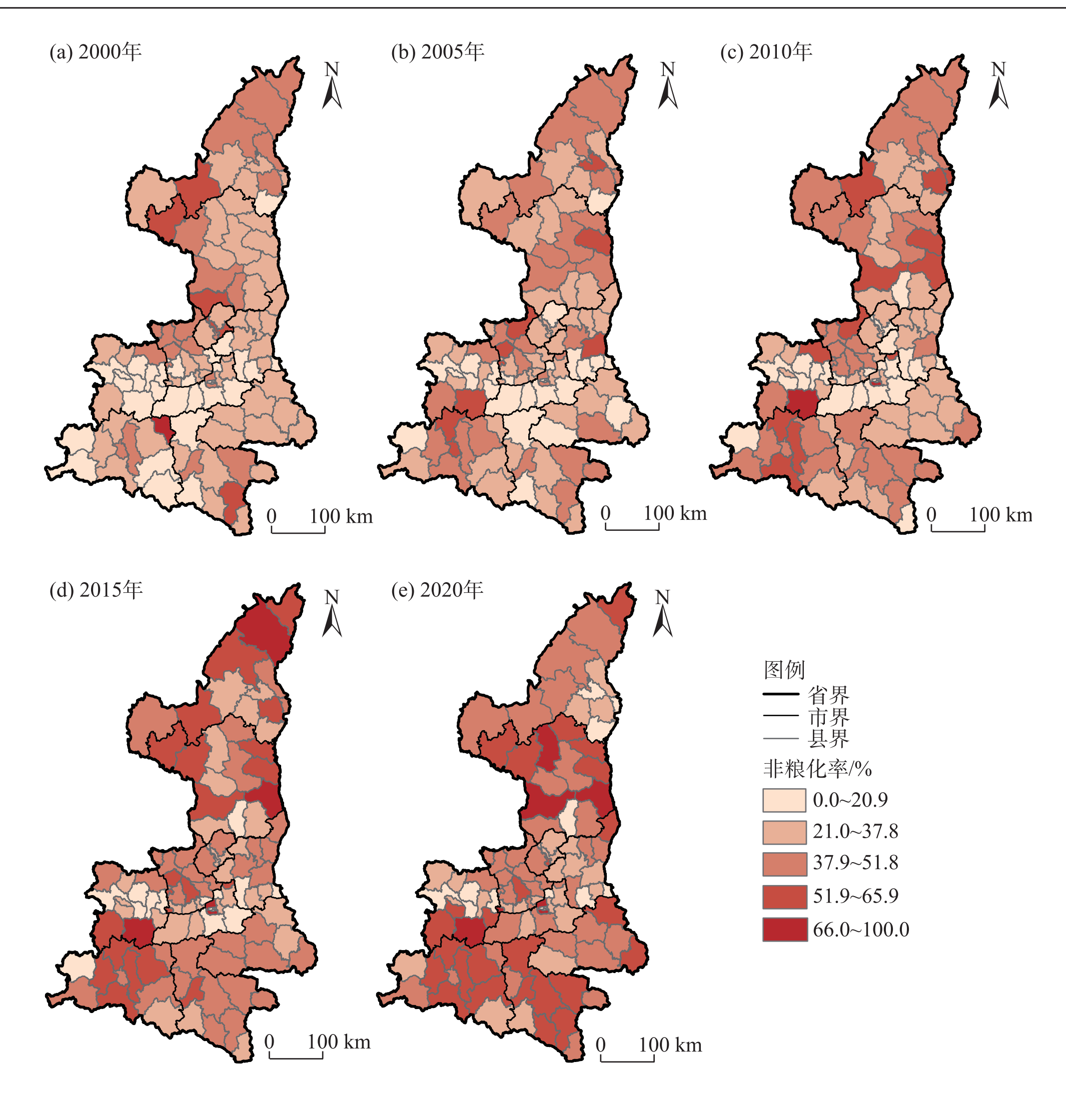


图3　陕西省各县域耕地非粮化率时空分布

Fig. 3　Spatiotemporal distribution of non-grain rates of cultivated land in each county of Shaanxi Province

蔓延态势，耕地非粮化形势愈发严峻。

2.2　耕地非粮化时空分异特征

首先利用Global Moran's *I*对陕西省耕地非粮化水平进行全局自相关分析，以判断研究区域是否存在集聚空间分布状态。结果显示（表2），2000、2005、2010、2015、2020年Global Moran's *I*均大于0，且通过显著性检验，说明非粮化水平在空间上存在较强相关性，Global Moran's *I*数值变化为先下降后上升，自相关特征总体呈下降趋势。

为探究区域非粮化的分布和集聚模式，引入Local Moran' *I*做进一步分析。结果显示，2000—2020年陕西省耕地非粮化均以“高-高型集聚”和“低-低型集聚”为主（图4）。“高-高型集聚”地区数量呈先上升后下降的趋势，2005年达到峰值，有10个地区，2020年降至3个地区，整体呈下降趋势，且集聚中心由中部偏北演变为南部偏西，这与陕南地区地形起伏大、水热条件好、适宜种植茶叶和果树等非粮作物密切相关；“低-低型集聚”中心虽持续变化，但其主要分布在关中地区，该地区农业条件优越，多种植小麦、玉米等粮食作物，耕地非粮化率相对较低且临近单元差距较小，因此低值集聚区多分布于该地区。

表2　全局莫兰指数

Tab. 2　Global Moran's *I* index

年份	全局莫兰指数	*P*值
2000	0.283	0.001
2005	0.224	0.001
2010	0.144	0.025
2015	0.090	0.078
2020	0.123	0.021

2.3 驱动因素影响的时空异质性分析

由于耕地非粮化演变特征存在明显的时空差异，因此本文采用逐步回归法和GTWR模型揭示耕地非粮化驱动因素的影响异质性。在回归分析之前，为确保模型有效性，利用Stata 17.0计算各影响因素的方差膨胀因子(VIF)，剔除掉VIF>5的影响因素，以消除影响因素间共线性。结果显示(表3)，本文所选影响因素之间不存在多重共线性。

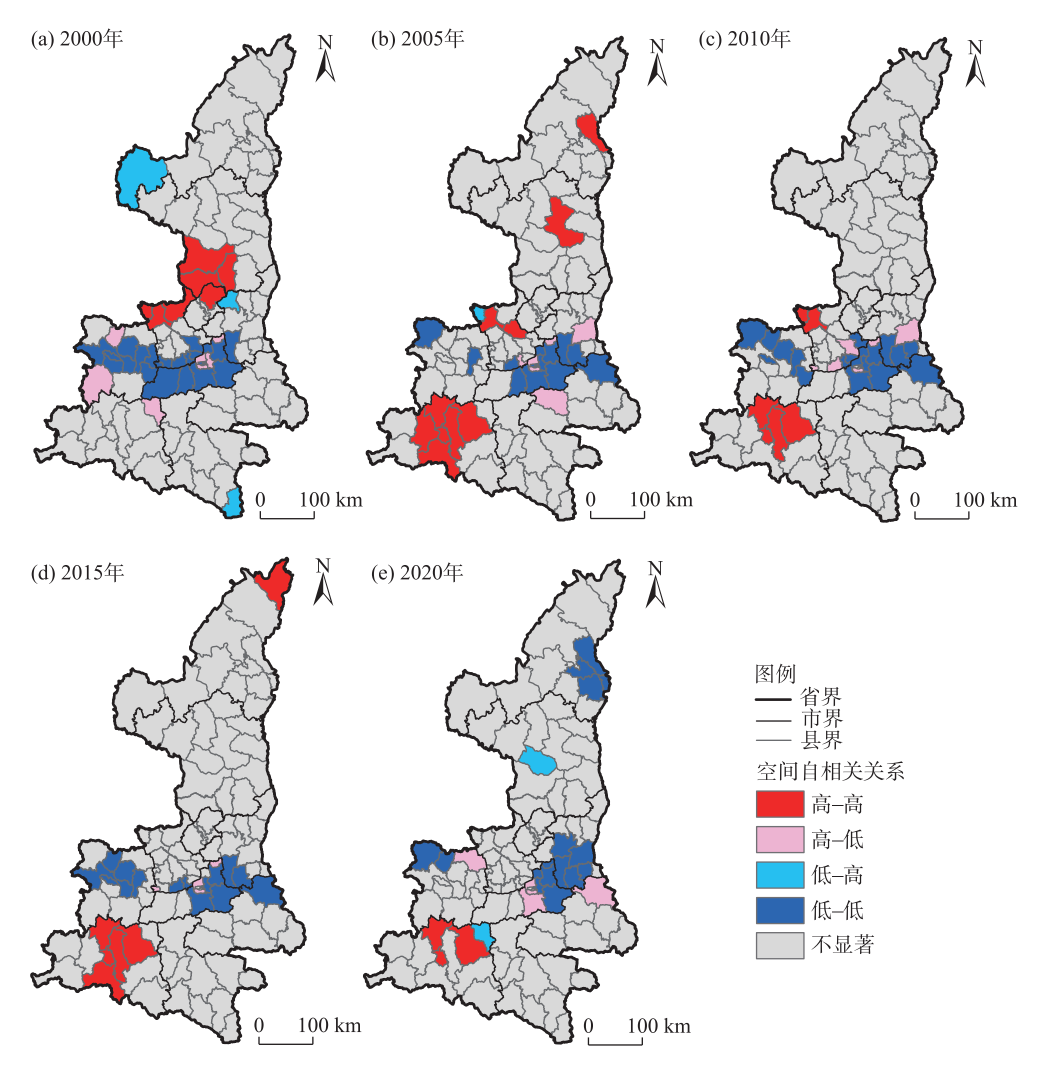


图4 局部莫兰指数LISA集聚

Fig. 4 LISA agglomeration of Local Moran's I index

表3 回归模型拟合结果

Tab. 3 Fitting results of regression model

维度	自变量	回归系数	标准误	P值	方差膨胀因子(VIF)
社会经济	一产增加值(X_1)	0.160	0.032	0.000***	1.967
	农村居民可支配收入(X_2)	0.483	0.058	0.000***	1.578
	乡村人口数(X_3)	-0.095	0.020	0.000***	1.808
生产条件	人均耕地面积(X_4)	0.380	0.043	0.000***	1.917
	人均机械劳动力(X_5)	-0.472	0.084	0.000***	1.522
	路网密度(X_6)	0.245	0.029	0.000***	1.698
自然禀赋	平均坡度(X_7)	0.132	0.012	0.000***	2.010
	年降水量(X_8)	-0.072	0.021	0.001***	1.635
	年均气温(X_9)	-0.063	0.022	0.005***	1.804

注：***、**和*分别代表在1.0%、5.0%和10%水平上显著相关。

(1) 驱动因素逐步回归结果分析。回归结果显示：所选变量均在1.0%的水平上显著，说明这9个指标整体与陕西省非粮化率具有显著线性关系。根据标准化回归系数，对耕地非粮化率的相关因素指标影响程度的强弱进行排序：$X_2>X_5>X_4>X_6>X_1>X_7>X_3>X_8>X_9$，据此可知农村居民可支配收入（$X_2$）、人均机械劳动力（$X_5$）和人均耕地面积（$X_4$）对陕西省耕地非粮化率影响程度较大。

(2) 驱动因素GTWR模型结果分析。基于回归所筛选的指标体系，构建GTWR模型，模型带宽0.115、赤池信息量准则（AICc）为-3303.86、校正后拟合优度（校正R^2）为0.539，说明构建的模型拟合度优，能够满足模型拟合要求。采用自然断点法，将各因子系数进行可视化表达（图5~7），从社会经济、生产条件和自然禀赋3个维度展开分析。

从社会经济维度来看（图5），一产增加值对耕地非粮化的影响呈现不同空间格局，在关中和陕南主要为正向影响，在陕北则为负向影响。农村居民可支配收入和乡村人口数对耕地非粮化的正向影响随时间推移呈现向陕北聚集的态势，且对耕地非粮化的驱动力逐渐提高，其中农村居民可支配收入平均系数最高达1.906。这与该地区发达的苹果产业有关，陕北苹果种植提高了农户收入，按照“投资-收益”理论，这种正反馈会使农户继续选择非粮作物。同时，充裕的劳动力资源也有助于苹果产业发展，进而加剧耕地非粮化态势。

从生产条件维度来看（图6），人均耕地面积对陕北耕地非粮化驱动程度逐渐加强，对关中和陕南耕地非粮化的影响程度则呈下降趋势，这与地区耕地细碎化程度有关。人均机械劳动力对关中耕地非粮化为负向影响，对陕北和陕南耕地非粮化为正向影响，但其驱动力在陕北呈下降趋势，在陕南呈上升趋势，2个地区变化趋势截然相反。路网密度主要驱动陕北耕地非粮化，其驱动程度一直保持较高水平，平均系数最高达到7.631，说明路网密度的提升将大幅提升该地区非粮化水平，陕北土地整治工程改善了交通条件，进而促进了耕地非粮化发展。

从自然禀赋维度来看（图7），平均坡度和年降水量对关中和陕南耕地非粮化由正向影响为主逐渐变为负向影响为主，驱动力呈下降趋势。而对陕北耕地非粮化则以正向影响为主且驱动力逐渐提高，说明陕北虽开展了土地整治，但其沟壑地形依然影响着粮食生产。年均气温则主要作用于关中和陕南耕地非粮化，受正向影响地区主要分布于秦岭以南，负向影响地区则分布于秦岭以北，因秦岭作为关中与陕南的分界线，山脉南北两侧的地形、气温及降水存在显著差异，对山脉两侧农业生产的影响也不同。

2.4 耕地非粮化分区

基于所选9个指标，利用主成分分析方法提取主要影响因子。抽样适合性检验（KMO）为0.637，可以进行主成分分析。结果显示，前3个因子累计贡献率达到67.704%，可涵盖9个指标信息，因此以前3个指标为依据进行耕地非粮化驱动类型划分。

成分矩阵显示（表4），第一主成分在一产增加值、农村居民可支配收入、乡村人口数等因子上有较大载荷量，故将这3个指标归为经济驱动型因子；第二主成分主要受人均机械劳动力、人均耕地面积、年降水量等因子影响，而人均耕地面积、人均机械劳动力均为正向影响且载荷量较大，故将人均耕地面积和人均机械劳动力等归为生产支持型因子；第三主成分主要受平均坡度影响，且为负向影响，年降水量及年均气温在第三主成分中也为负值影响，故将这3个指标归为环境限制型因子。

计算各区县在3个因子的主成分得分，按得分进行K均值聚类，得到陕西省104个研究区所属耕地非粮化分区：经济驱动型、生产支持型和环境限制型（图8）。结合划分空间邻近和区域连片性，对部分区县驱动类型聚类结果进行微调，使其更利于分区管控研究[16]。

经济驱动型主要分布于关中及陕北北部地区，数量为40个，占比达到38.46%，是陕西省耕地非粮化主要驱动类型。关中属于陕西省经济水平较发达区，依托省会西安市及“一带一路”规划带动周边地区发展[29]，经济水平提高促使种植结构趋于商品化，加剧了非粮化趋势。陕北北部地区依托当地丰富的煤矿、天然气等资源优势，形成庞大的能源产业链，推动城市化发展，但同时也导致耕地非粮化现象加重。

生产支持型主要分布在陕北地区，数量为32个，占比为30.77%。陕北地区属黄土高原地形，农地空间分布较破碎，农作条件差，不适宜粮食种植，当地依托黄土土质肥沃、土层厚的优势，形成红枣、苹

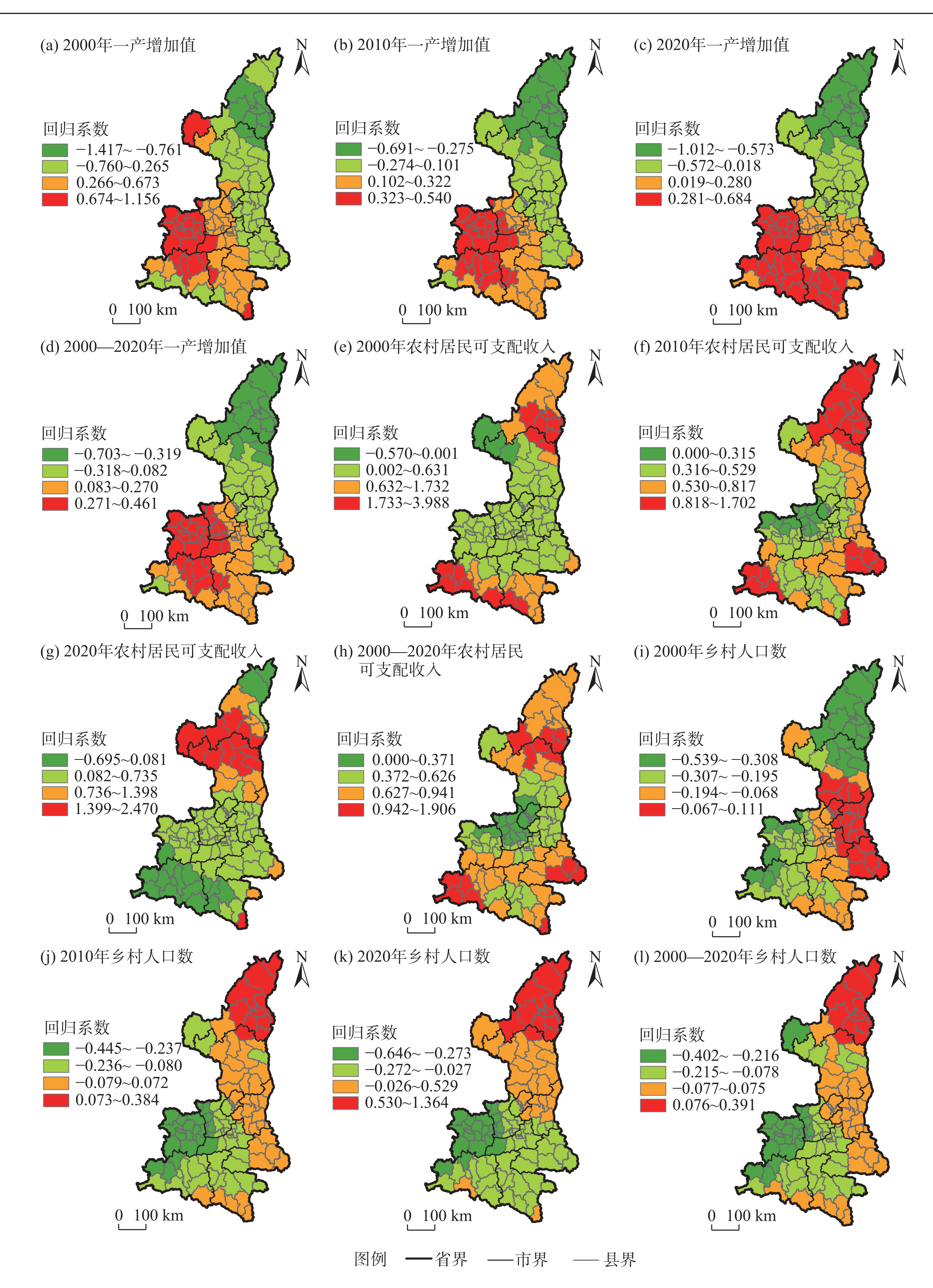


图5 社会经济维度指标GTWR模型回归结果

Fig. 5 GTWR model regression results for the socio-economic dimension indicators

果等特色产业带[30]，但也加剧了耕地非粮化态势。

环境限制型主要分布在陕南地区，数量为32个，占比为30.77%。陕南的山地丘陵地形为该地区耕地非粮化原始驱动力，其良好的水热条件为茶叶、水果、中药材等作物种植提供了优越的自然条件，形成了汉中仙毫、洛南核桃等特色农业品牌，导

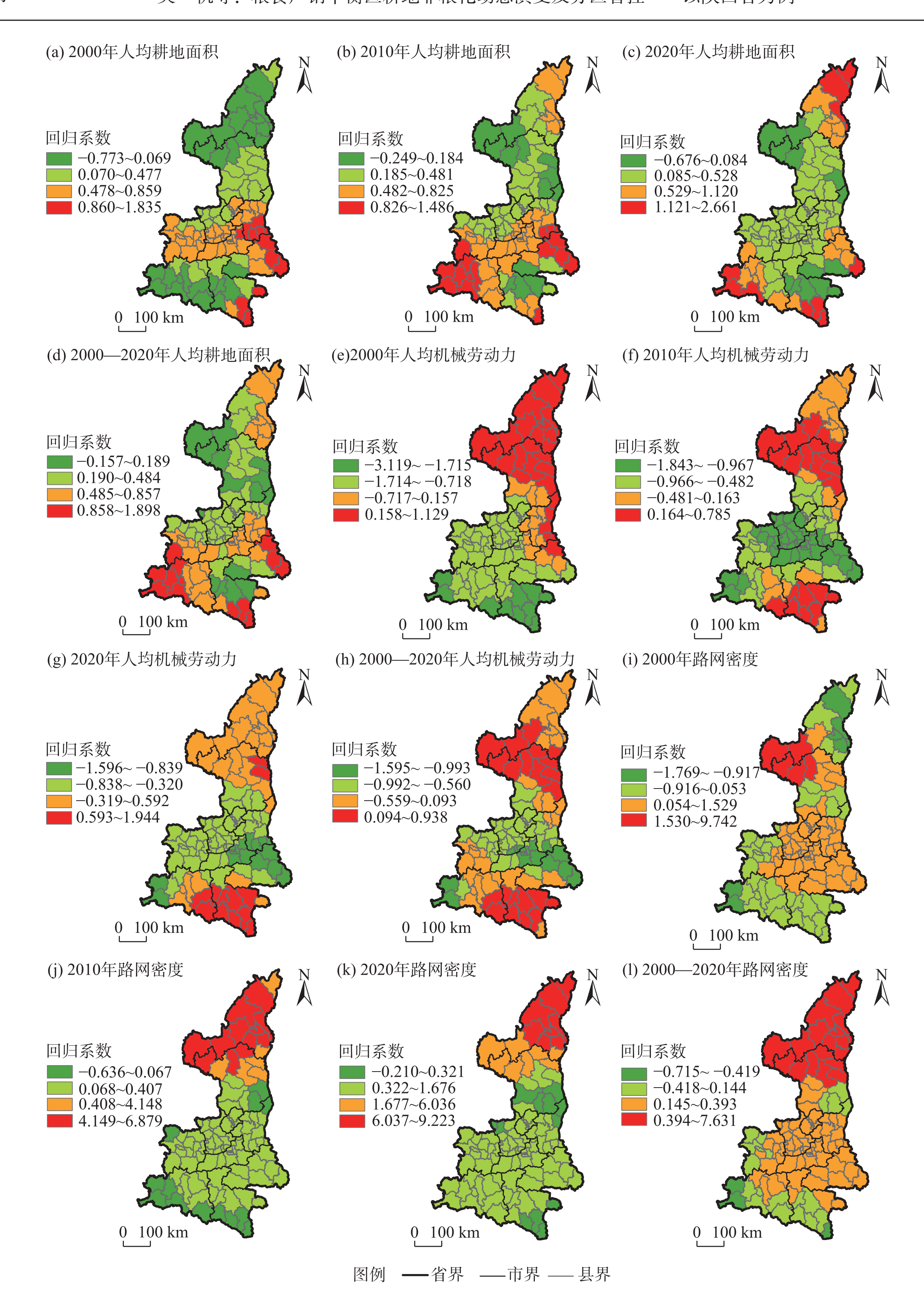


图6　生产条件维度指标GTWR模型回归结果

Fig. 6　GTWR model regression results for the production conditions dimension indicators

致耕地非粮化水平提高。

2.5　耕地非粮化分区管控措施

耕地非粮化问题的形成是多重因素综合作用的结果，非粮化种植是市场利益驱动和农户理性考虑下的选择，粮食作为低收益初级产品，其收益远低于高附加值经济作物，因此，如何提高种粮收益，

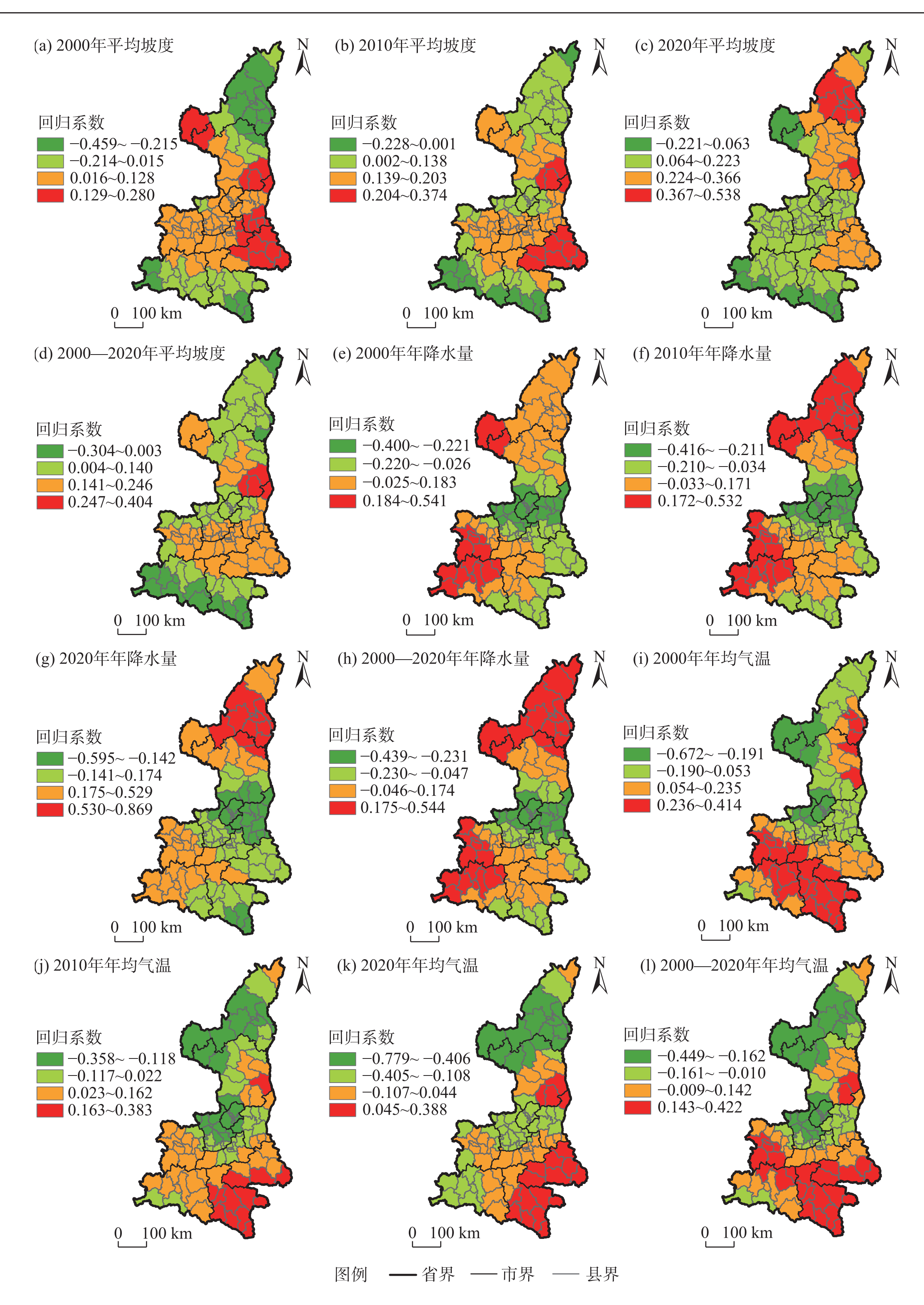


图7 自然禀赋维度指标GTWR模型回归结果

Fig. 7 GTWR model regression results for the natural endowment dimension indicators

是耕地非粮化管控措施能否顺利进行的关键。对耕地非粮化的治理应当兼顾公平与效率原则，一方面既要认识到经济发展带来农产品消费结构升级、农业种植结构调整的必然性，另一方面也要落实好粮食生产任务、保障粮食安全，协调好农户非粮种植意愿与粮食生产之间的关系。

表4　成分矩阵

Tab. 4　Component matrix

影响因子	第一主成分	第二主成分	第三主成分
一产增加值(X_1)	0.346	−0.153	0.277
农村居民可支配收入(X_2)	−0.369	0.065	0.253
乡村人口数(X_3)	0.368	−0.237	0.226
人均耕地面积(X_4)	0.223	0.374	−0.049
人均机械劳动力(X_5)	0.063	0.353	0.046
路网密度(X_6)	−0.486	−0.049	0.222
平均坡度(X_7)	−0.042	−0.113	−0.337
年降水量(X_8)	−0.089	−0.309	−0.189
年均气温(X_9)	0.025	0.105	−0.037

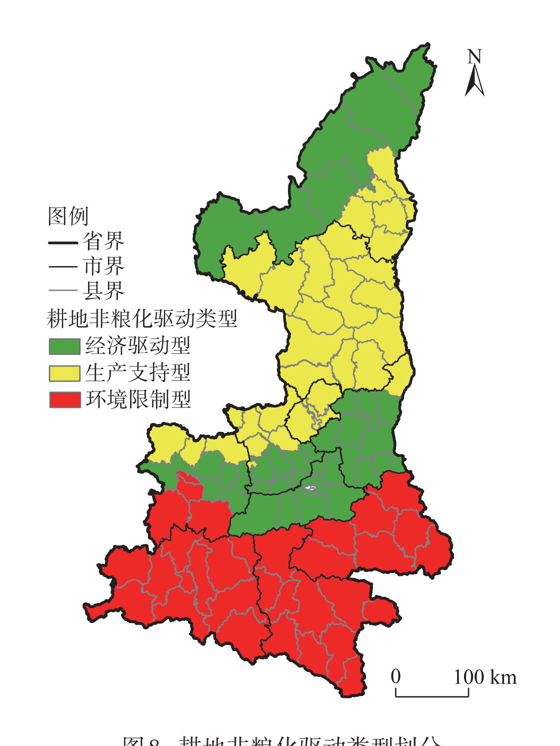


图8　耕地非粮化驱动类型划分

Fig. 8　Classification of drive types of non-grian of cultivated land

经济驱动型非粮化主要分布在关中地区，属陕西省社会经济水平较发达区，同时也是重要的粮食主产区。该类型区县制定管控措施应符合地方经济规律，将助力粮农降本增收和减少乡村人口流失作为治理重点。要落实好粮食补贴、农机补贴等政策，提高补贴力度，同时给予信贷、保险等金融支持，发挥强农惠农政策激励作用，减轻粮农种粮压力。充分发挥关中地区平原地形优势，推动机械化、规模化生产，提高生产效率和种粮“性价比”，从而提高种粮比较收益。针对农村劳动力流失问题，应构建人才回流机制，完善乡村基础配套设施，提高教育医疗水平，推进农业农村现代化进程，不断优化内部环境，以减少乡村人口流失造成的非粮化问题。

生产支持型非粮化主要分布在陕北地区，黄土沟壑区耕地细碎化问题是陕北耕地非粮化的主要动因。针对该现象，应推进黄土沟壑区土地整治，改善耕地种植条件，以便于提高沟壑区机械化利用率和道路便利度，同时完善农田水利等技术设施配套建设，改善农业生产环境，通过耕地集中连片整治解决耕地细碎化问题，为粮食种植提供物质基础。此外，可通过加强品牌建设，提高农户种粮意愿，例如米脂县通过“米脂小米”品牌提高粮食附加值，实现粮农收入的提高，同时品牌建设也可吸引工商资本投资，促进当地农业经济增长，缓解耕地非粮化现象。

环境限制型非粮化集中分布在陕南地区，自然环境本底影响其种植结构。对于该类型区县，耕地非粮化的管控不应一刀切，应当“主防辅治”，采取差异性措施，防止耕地非粮化进一步发展。对符合整治条件的，空间上地块较为规整和集聚的耕地，可结合国家相关政策引导其耕地优先用于粮食生产。耕作条件欠佳的地区，可根据当地自然资源禀赋和产业特点，适度支持适宜发展的特色农业，并引导其上坡上山，减少对耕地的占用。对陕南地区汉中盆地、商洛盆地等重要粮食产区，应对其非粮化行为严格整治，保障粮食产区耕地全部用于粮食生产，禁止从事粮食生产以外的其他非粮化种植行为。

3　讨 论

（1）在耕地非粮化水平的测度方面，目前对全国[17]、省域[18]、市域[19]等不同尺度研究结果表明，耕地非粮化现象已普遍存在且呈上升趋势，这与本文的基本结果相一致。考虑到省内地区差异性，从全省和县级2个层面进行测度，研究发现陕西省耕地非粮化水平2020年达到27.87%，增幅达73%，远高于重庆[13]、广西[31]等产销平衡区非粮化率增速。究其原因，与陕西作为“水果大省”，省内丰富的农业种植品种密不可分，例如陕北凭借黄土高原区位优势，成为我国主要的苹果产区，陕南依靠地形和水热条件发展茶叶、中药材等产业。同时，西安市等

大城市周边非粮化发展较快，主要是因为经济发展带动居民多样化农产品需求。值得注意的是，关中地区虽种植猕猴桃等经济作物，但耕地非粮化水平相对较低，这得益于其省内粮食主产区定位，非粮化发展形势相对缓和。

(2) 在耕地非粮化时空分异方面，陕西省耕地非粮化发展呈现明显的聚集趋势，非粮化高水平区呈现由点及面的扩散发展特征，一个地区的非粮化发展能带动周边地区非粮化水平的提高，这一结果与张颖诗等[16]的研究结果相似。非粮化现象所呈现的集聚发展特征，一方面是受经济发展、农业产业结构调整的影响，另一方面交通体系的完善、地区间交流的强化，使农户易受邻近县域种植行为影响，加之非粮作物的高比较收益，驱使农户做出非粮化种植行为。

(3) 在耕地非粮化驱动因素的研究方面，已有学者[14]考虑到地域差异性对驱动因素的影响，将地理因素纳入到研究当中，但缺少对时间因素的考虑。因此，本文利用GTWR模型同时兼顾时间和空间2个维度，研究发现非粮化驱动因素时空异质性十分明显。陕北非粮化最主要驱动因素为路网密度，关中非粮化主要受一产增加值驱动，陕南非粮化主要驱动因素则为人均机械劳动力。这种异质性反映了各地区独特经济和环境背景。关中平原、黄土高原、秦岭山脉等多样化的地形地貌影响农业生产方式和结构，从而导致非粮化成因的差异性。黄土高原沟壑区土地整治工程在改善耕地环境和交通条件的同时，也为非粮作物运输提供便利，使其成为陕北耕地非粮化的一大诱因。陕南地势多山，耕地资源少且分布不均，规模化、机械化粮食种植受限，此环境下非粮化种植成为多数农户的选择，这与王鹏程等[31]的研究结论相同。相较于陕北陕南地区，关中地区非粮化则主要因农产品市场需求变化以及农业产业结构调整[32]。此外，受限于数据可获得性，本文未充分考虑到微观视角农户层面因素的作用机制，未来研究可做进一步深入探索。

(4) 在对耕地非粮化分区管控的探索方面，由于非粮化现象及驱动因素存在地区差异性，因此需要制定有针对性的管控措施。与已有研究不同之处在于，本文在采用聚类分区的基础上，同时结合各地区GTWR模型影响因素，制定更符合各分区的非粮化管控措施。其中，聚类划分非粮化驱动类型，明确各类型地区非粮化管控主要方向，再结合地区影响因素，提高管控措施精确度。例如，关中地区主要为经济驱动型，其管控主要方向为助力粮农降本增收，减少因粮农经济压力而导致的非粮化种植，同时结合GTWR模型结果中乡村人口数与其非粮化的反向关系，制定吸引劳动力回流相关措施，以缓和乡村人口流失造成的非粮化现象。

4 结 论

(1) 陕西省整体耕地非粮化率由2000年的16.11%上升至2020年的27.87%，增幅达73.00%。耕地非粮化严重地区数量明显增多，并呈现出扩散趋势。耕地非粮化水平整体呈现“南北高–中部低”的格局，其中陕北地区非粮化水平最高，其次为陕南地区，最后为关中地区。

(2) 耕地非粮化空间分布存在明显的空间集聚性，集聚类型以“高–高型集聚”和“低–低型集聚”为主且存在显著的变化趋势。“高–高型集聚”数量渐减且逐渐集中分布于陕南地区；“低–低型集聚”则主要分布于关中地区，呈现由中心向四周扩散趋势。

(3) 在社会经济维度，农村居民可支配收入为主要驱动因子，对耕地非粮化驱动力在陕北呈上升趋势，在关中和陕南呈下降趋势；在生产条件维度，人均机械劳动力为主要驱动因子，对耕地非粮化驱动力在陕北呈下降趋势，在陕南和关中呈上升趋势；在自然禀赋维度，平均坡度为主要驱动因子，非粮化驱动力在陕北呈上升趋势，在关中和陕南呈下降趋势。

(4) 陕西省耕地非粮化驱动类型划分为3类：经济驱动型，主要分布于关中及陕北北部地区，管控措施以粮农降本增收、减少乡村人口流失为主；生产支持型，主要分布在陕北地区，改善种粮环境、促进农业经济发展为其管控方向；环境限制型，主要分布在陕南地区，防治结合、加强产粮区监管力度是缓解该地区非粮化的途径。

参考文献(References)

[1] 龙小翠, 刘京, 徐仲炜, 等. 陕西渭北旱塬区县域耕地时空变化及其对粮食生产影响[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 423–434. [Long Xiaocui, Liu Jing, Xu Zhongwei, et al. Temporal and spatial

changes of cultivated land and its impact on grain production in Weibei dryland district of Shaanxi Province[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 423-434.]

[2] 廖富洲, 廖婧怡, 杨程. 耕地流转中的"非粮化"问题及对策研究[J]. 学习论坛, 2015, 31(7): 37-40. [Liao Fuzhou, Liao Jingyi, Yang Cheng. Research on the "non-grain" problems and countermeasures in the transfer of cultivated land[J]. Tribune of Study, 2015, 31(7): 37-40.]

[3] 丁金梅, 杨奎, 马彩虹, 等. 中国粮食产量时空格局演变研究[J]. 干旱区地理, 2017, 40(6): 1290-1297. [Ding Jinmei, Yang Kui, Ma Caihong, et al. Spatial-temporal evolution of grain production in China[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(6): 1290-1297.]

[4] 姚成胜, 杨一单, 殷伟. 三大区域粮食安全责任共担的角色定位与推进路径——基于中国省域口粮自给率差异视角[J]. 经济学家, 2023(6): 100-109. [Yao Chengsheng, Yang Yidan, Yin Wei. Role positioning and propelling path of the "three regions" in taking responsibility for China's food security: Based on the perspective of provincial differences in edible grain self-sufficiency rate [J]. Economist, 2023(6): 100-109.]

[5] 华树春, 钟钰. 我国粮食区域供需平衡以及引发的政策启示[J]. 经济问题, 2021(3): 100-107. [Hua Shuchun, Zhong Yu. Regional balance of grain supply and demand in China and the policy implications[J]. On Economic Problems, 2021(3): 100-107.]

[6] 毕雪昊, 周佳宁, 邹伟. 家庭劳动力约束下经营规模对农户种植结构选择的影响[J]. 中国土地科学, 2020, 34(12): 68-77. [Bi Xuehao, Zhou Jianing, Zou Wei. The effect of operation scale on farmers' planting structure selection under the constraints of family labor[J]. China Land Science, 2020, 34(12): 68-77.]

[7] 王勇, 陈印军, 易小燕, 等. 耕地流转中的"非粮化"问题与对策建议[J]. 中国农业资源与区划, 2011, 32(4): 13-16. [Wang Yong, Chen Yinjun, Yi Xiaoyan, et al. The non-grain problem in the process of land transfer and the countermeasures[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2011, 32(4): 13-16.]

[8] 祝洪章. 农地流转"非粮化"及对粮食安全影响研究述评[J]. 人民论坛, 2016(17): 82-84. [Zhu Hongzhang. A review of the research on the "non-grain" of farmland transfer and its impact on food security[J]. People's Tribune, 2016(17): 82-84.]

[9] 罗必良, 江雪萍, 李尚蒲, 等. 农地流转会导致种植结构"非粮化"吗[J]. 江海学刊, 2018(2): 94-101, 238. [Luo Biliang, Jiang Xueping, Li Shangpu, et al. Will farmland transfer lead to "non-grain" planting structure[J]. Jianghai Academic Journal, 2018(2): 94-101, 238.]

[10] 戚渊, 李瑶瑶, 朱道林. 农地资本化视角下的耕地非粮化研究[J]. 中国土地科学, 2021, 35(8): 47-56. [Qi Yuan, Li Yaoyao, Zhu Daolin. Study on the non-grain utilization of cultivated land from the perspective of cultivated land capitalization[J]. China Land Science, 2021, 35(8): 47-56.]

[11] 檀竹平, 洪炜杰, 罗必良. 农业劳动力转移与种植结构"趋粮化"[J]. 改革, 2019(7): 111-118. [Tan Zhuping, Hong Weijie, Luo Biliang. The transfer effect of agricultural labor force and grain-oriented planting structure[J]. Reform, 2019(7): 111-118.]

[12] 冷智花, 行永乐, 钱龙. 农业劳动力性别结构对粮食生产的影响——基于CFPS数据的实证分析[J]. 财贸研究, 2020, 31(12): 36-48. [Leng Zhihua, Xing Yongle, Qian Long. Impact of gender structure of agricultural labor force on grain production: An empirical analysis based on CFPS data[J]. Finance and Trade Research, 2020, 31(12): 36-48.]

[13] 谢雨琦, 王子芳, 王颖, 等. 重庆丘陵山区耕地非粮化时空变异及驱动类型划分[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(1): 15-26. [Xie Yuqi, Wang Zifang, Wang Ying, et al. Spatial-temporal variation and driving types of non-grain cultivated land in hilly and mountainous areas of Chongqing[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2024, 41(1): 15-26.]

[14] 常媛媛, 刘俊娜, 马静, 等. 干旱半干旱区耕地非粮化空间格局及驱动因素[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(2): 333-344. [Chang Yuanyuan, Liu Junna, Ma Jing, et al. Spatial pattern and driving factors of non-grain conversion on cultivated land in arid and semi-arid regions[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023, 40(2): 333-344.]

[15] Su Y, Qian K, Lin L, et al. Identifying the driving forces of non-grain production expansion in rural China and its implications for policies on cultivated land protection[J]. Land Use Policy, 2020, 92: 104435, doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104435.

[16] 张颖诗, 冯艳芬, 王芳, 等. 广东省耕地非粮化的时空分异及其驱动机制[J]. 资源科学, 2022, 44(3): 480-493. [Zhang Yingshi, Feng Yanfen, Wang Fang, et al. Spatiotemporal differentiation and driving mechanism of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province[J]. Resources Science, 2022, 44(3): 480-493.]

[17] 孟菲, 谭永忠, 陈航, 等. 中国耕地"非粮化"的时空格局演变及其影响因素[J]. 中国土地科学, 2022, 36(1): 97-106. [Meng Fei, Tan Yongzhong, Chen Hang, et al. Spatial-temporal evolution patterns and influencing factors of "non-grain" utilization of cultivated land in China[J]. China Land Science, 2022, 36(1): 97-106.]

[18] 张惠中, 宋文, 张文信, 等. 山东省耕地"非粮化"空间分异特征及其影响因素分析[J]. 中国土地科学, 2021, 35(10): 94-103. [Zhang Huizhong, Song Wen, Zhang Wenxin, et al. Analysis of spatial differentiation characteristics and influencing factors of non-grain cultivated land in Shandong Province[J]. China Land Science, 2021, 35(10): 94-103.]

[19] 常媛媛, 刘俊娜, 张琦, 等. 粮食主产区耕地非粮化空间格局分异及其成因[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(4): 817-826. [Chang Yuanyuan, Liu Junna, Zhang Qi, et al. Spatial pattern differentiation of cultivated land non-grain conversion in major grain-producing areas[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(4): 817-826.]

[20] 位佳佳, 陈学渊, 吴永常, 等. 西北旱区耕地"非粮化"时空演变分析——以陕西大荔为例[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44

(4): 24−34. [Wei Jiajia, Chen Xueyuan, Wu Yongchang, et al. Analysis of the spatial and temporal evolution of arable land denudation in the northwest drylands: A case study of Dali, Shaanxi Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(4): 24−34.]

[21] 张婕, 刘玉洁, 张二梅, 等. 中国县域耕地动态演变及其驱动机制[J]. 地理学报, 2023, 78(9): 2105−2127. [Zhang Jie, Liu Yujie, Zhang Ermei, et al. Dynamics and driving mechanisms of cultivated land at county level in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(9): 2105−2127.]

[22] 宋戈, 白小艳, 高佳. 粮食产销平衡区耕地非粮化负外部效益空间分布特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 349−355. [Song Ge, Bai Xiaoyan, Gao Jia. Spatial distribution characteristics of the negative external benefits of non-food cultivated land in grain production and marketing balance area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(1): 349−355.]

[23] 陈百明, 周小萍. 中国粮食自给率与耕地资源安全底线的探讨[J]. 经济地理, 2005, 25(2): 145−148. [Chen Baiming, Zhou Xiaoping. Analysis on the grain self-sufficient ratio and the safe baseline of cultivated land in China[J]. Economic Geography, 2005, 25 (2): 145−148.]

[24] 孔祥斌. 当前耕地保护面临的问题分析及对策研究[J]. 中国土地, 2020(12): 4−7. [Kong Xiangbin. Analysis of the current problems faced by cultivated land protection and countermeasures[J]. China Land, 2020(12): 4−7.]

[25] 彭继权, 吴海涛, 程威特, 等. 机械化水平对农户种植结构的影响研究——基于IVGMM和IVTobit的估计方法[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(1): 55−65. [Peng Jiquan, Wu Haitao, Cheng Weite, et al. Study on the effect of mechanization on farmer' s planting structure: Estimation method based on IVGMM and IVTobit[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(1): 55−65.]

[26] 吴大放, 吴钊骏, 李升发, 等. 粤北山区耕地非粮化演变特征及其影响因素[J]. 经济地理, 2023, 43(8): 144−153. [Wu Dafang, Wu Zhaojun, Li Shengfa, et al. Spatiotemporal evolution and influencing factors of non-grain cultivated land in northern mountainous areas of Guangdong Province[J]. Economic Geograpghy, 2023, 43(8): 144−153.]

[27] 姚小薇, 曾杰, 李旺君. 武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 249−256. [Yao Xiaowei, Zeng Jie, Li Wangjun. Spatial correlation characteristics of urbanization and land ecosystem service value in Wuhan urban agglomeration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(9): 249−256.]

[28] Huang B, Wu B, Barry M. Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(3): 383−401.

[29] 褚晓彤, 王跃朋, 周建. 关中地区耕地显性与隐性非粮化的时空变化及对粮食产量的影响[J]. 农业工程学报, 2023, 39(19): 241−249. [Chu Xiaotong, Wang Yuepeng, Zhou Jian. Effects of spatiotemporal variations in implicit and explicit non-grain production farmland on grain yield in the Guanzhong region of Shaanxi in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(19): 241−249.]

[30] 马理辉, 刘晓丽, 刘根全, 等. 陕北山地苹果产业发展的问题与新思路[J]. 陕西林业科技, 2019, 47(3): 73−77. [Ma Lihui, Liu Xiaoli, Liu Genquan, et al. Problems and new ideas in the development of apple industry in northern Shaanxi[J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2019, 47(3): 73−77.]

[31] 王鹏程, 张利国, 卢玉兰, 等. 广西耕地"非粮化"时空演变及影响因素研究[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(5): 187−197. [Wang Pengcheng, Zhang Liguo, Lu Yulan, et al. Study on the spatial-temporal evolution and influencing factors of non-grain cultivated land in Guangxi[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(5): 187−197.]

[32] 刘媛, 樊志民. 近代关中种植业结构的商品化选择与隐性危机应对[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2017, 17(3): 120−126. [Liu Yuan, Fan Zhimin. Commercialization and latent crisis response of Guanzhong farming structure since 20th century[J]. Journal of Northwest A & F University (Social Science Edition), 2017, 17(3): 120−126.]

Dynamic evolution and zoning control of cultivated land non-grain in grain production and marketing balance area: A case of Shaanxi Province

WU Yifan[1], XING Peixue[2], ZHENG Weiwei[1], XIA Xianli[1], ZHANG Chaozheng[1]

(1. College of Economics and Management, Northwest A & F University, Xianyang 712100, Shaanxi, China;
2. College of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Exploring the spatial and temporal evolution characteristics and driving factors of cultivated land non-grain in grain production and marketing balance areas is crucial for providing references for differentiated control measures and long-term management strategies. This study employs spatial autocorrelation models, spatio-temporal geographically weighted regression models, *K*-means algorithms, and other methods to investigate the spatio-temporal evolution of cultivated land non-grain and its driving factors in Shaanxi Province, China, from 2000 to 2020. The results reveal the following: (1) The non-grain rate of cultivated land in Shaanxi Province increased from 16.11% in 2000 to 27.87% in 2020, representing a 73.00% rise. (2) The spatial distribution of non-grain in the province followed a pattern of "high in the north-south and low in the center." The center of "high-high agglomeration" shifted gradually from the junction of the Guanzhong region and the northern region to the southern region of Shaanxi Province. Meanwhile, the "low-low agglomeration" was primarily concentrated in the Guanzhong region, exhibiting a diffusion trend from the center to surrounding areas. (3) The influence and scope of driving factors for cultivated land non-grain display significant spatio-temporal heterogeneity. The added value of the primary industry showed an increasing influence on cultivated land non-grain, while factors such as per capita cultivated land area, per capita mechanical labor force, average land slope, and annual precipitation demonstrated a decreasing influence. (4) The non-grain driving type of cultivated land in Shaanxi Province is mainly economic-driven, which is mainly distributed in Guanzhong region. Promoting the cost reduction and income increase of grain farmers and reducing the loss of rural population are the key points of control strategies. The types of production support are mainly distributed in the northern region, and the control strategies are mainly to improve the grain planting conditions and promote the development of the agricultural economy. The environmental restriction types are mainly distributed in the southern region of Shaanxi Province, and the combination measure of policy guidance and control strategies is the governance mode.

Key words: cultivated land protection; non-grain of cultivated land; grain production and marketing balance area; spatio-temporal geographically weighted regression model